



## Optimizing the Opening Ratio of the Kinetic Sunshade in Order to Improve the Efficiency of Daylight Using Computational Simulation (A Case Study of an Office Building in Tehran)<sup>1</sup>





Arezoo Malek<sup>2</sup>, Roozbeh Naghshineh<sup>3</sup>, Alireza Karimpour<sup>4</sup>, Leila Zare<sup>5</sup>

Received: 2025-03-08, Accepted: 2025-11-15

DOI: 10.22034/rau.2025.2055367.1171

### Abstract

Today, the issue of adequate access to daylight has attracted significant attention across architectural, environmental, and health-related disciplines. This interest is driven not only by the necessity of complying with national and international building codes and energy efficiency standards but also by the increasing recognition of daylight as a central factor influencing visual comfort, occupant well-being, and sustainable design. Unlike artificial lighting, daylight is dynamic, constantly changing in intensity, spectrum, and direction, and thus requires careful design strategies to maximize its benefits while mitigating potential drawbacks. Daylight exposure plays a fundamental role in human health and productivity. Numerous studies have demonstrated that sufficient access to natural light regulates circadian rhythms, improves mood, reduces stress, and enhances sleep quality. In addition to these health-related benefits, daylight offers tangible advantages in work environments. Employees exposed to well-distributed daylight report higher levels of productivity, reduced fatigue, less eye strain, and improved cognitive performance compared to those working primarily under artificial lighting. Daylight, therefore, is not merely a design preference but an essential element of healthy, energy-efficient, and high-per-

1. This Paper is based on the first author's PHD Thesis titled "Optimization of Building Facade Elements to Improve Daylight Performance Efficiency (case study of tall office building in Tehran)." It is being conducted at the Department of Architecture, Islamic Azad University, West Tehran Branch, under the guidance of the second and third authors and the consultation of the fourth author.
2. Department of Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
Email: arezoo.malek@iau.ac.ir  0009-0007-8612-9671
3. Department of Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding author).  
Email: roozbeh.naghshineh@iau.ac.ir  0000-0002-0897-813X
4. Department of Architecture, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
Email: alireza.karimpour@iau.ac.ir  0000-0001-5893-8497
5. Department of Architecture, WT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
Email: zare.leila@iau.ac.ir  0000-0002-3315-3535



formance buildings. Access to daylight is particularly relevant in office environments where individuals spend long hours indoors. In such contexts, maintaining an optimal balance between adequate natural light penetration and brightness level regulation becomes crucial for ensuring visual comfort and reducing reliance on artificial lighting systems. Excessive daylight without proper control leads to glare, discomfort, and thermal issues, whereas insufficient daylight results in dimly lit interiors that require constant artificial illumination. To address these concerns, many countries have enacted strict regulations requiring minimum daylight levels in workplaces. These standards aim to guarantee that employees benefit from adequate daylight while minimizing negative effects such as overexposure, glare, and overheating. In rapidly urbanizing cities like Tehran, access to daylight takes on heightened significance. The city's climatic conditions provide extended periods of direct solar radiation throughout the year, creating both opportunities and challenges for architectural design. With thoughtful planning, architects can harness this abundant natural resource to create comfortable indoor environments and reduce the energy burden of artificial lighting. However, contemporary architectural trends, particularly the widespread use of fully glazed facades in high-rise office buildings, have complicated the daylighting equation. While glass facades allow large quantities of daylight to penetrate indoors, they often result in uneven distribution, excessive glare near windows, and poorly lit areas deeper inside the building. Moreover, uncontrolled solar gain through large glass surfaces significantly raises cooling demands during hot seasons, thereby increasing overall energy consumption and undermining sustainability objectives. These issues underscore the need for advanced architectural solutions that can dynamically regulate daylight penetration. Among the strategies developed in recent years, kinetic shading systems have emerged as an effective method for improving daylight performance in office buildings. Unlike static shading devices, kinetic systems adjust their configuration in real-time in response to environmental variables, such as solar angle, intensity, and occupant needs. Such adaptability ensures that daylight is admitted in controlled amounts, reducing glare and overheating while maintaining optimal illumination levels across the interior space. This research investigates the optimization of kinetic shading devices for office buildings in Tehran, with a focus on maximizing daylight quality and minimizing discomfort. Specifically, the study aims to improve Useful Daylight Illuminance (UDI). This widely recognized metric evaluates the percentage of occupied time when daylight levels are within a comfortable and functional range. By optimizing UDI and simultaneously reducing glare, the research seeks to demonstrate how kinetic shading systems can create visually comfortable and sustainable office environments. To achieve these objectives, advanced simulation tools were employed. Daylight simulations were conducted using the Honeybee and Ladybug plugins within the Grasshopper environment, allowing for a detailed analysis of daylight distribution under various climatic and architectural conditions. Multiple window-to-wall ratio (WWR) scenarios were tested to identify the most effective configuration for maximizing daylight quality. Building on these findings, a prototype kinetic shading device was designed, integrating



light-sensitive sensors that allow the system to adapt dynamically to fluctuating daylight conditions. To strengthen the research methodology, it is essential to highlight the role of computational simulation and parametric modeling in shaping the study's outcomes. Computational daylight simulation enables the evaluation of thousands of design alternatives under realistic climatic conditions, making it possible to identify patterns that would be impossible to observe through traditional methods. Within this framework, parametric modeling in Grasshopper provided a flexible design environment in which geometric variables, such as panel rotation angles, window-to-wall ratios, and surface reflectance, could be systematically adjusted. The integration of optimization tools, such as Wallacei, further enhanced this process by allowing the use of evolutionary algorithms, particularly the genetic algorithm, to search for optimal solutions. Genetic algorithms mimic natural selection by iteratively improving design populations, resulting in the discovery of facade configurations that balance daylight access and glare reduction in this study. This computational and parametric approach demonstrates the transformative potential of digital design in advancing sustainable architecture. The proposed system consists of a mobile sidebar equipped with an electromechanical control mechanism. At its core, a servo motor programmed via an Arduino board responds to signals from a daylight sensor, adjusting the device's configuration in real time. The shading elements rotate along two axes, providing flexible modulation of solar access. This dual-axis movement allows the system to block excessive direct sunlight during peak hours while permitting diffuse daylight to penetrate deeper into the interior spaces. Weather conditions for Tehran were modeled using EPW files to ensure that simulations accurately reflected local climate data. Additional parameters such as material reflectance, surface properties, and urban context were incorporated using the Wallacei optimization plugin in Grasshopper. A brute-force algorithm was applied to evaluate thousands of design variations and determine the optimal ratio of openings within an 80% transparent facade. Simulation results revealed significant improvements in daylight quality when the optimized kinetic shading system was applied. Specifically, spatial Useful Daylight Illuminance (sUDI) increased by 9.10%, while average Useful Daylight Illuminance (UDIavg) improved by 1.81%. These results highlight the potential of kinetic shading devices to provide more uniform daylight distribution throughout office interiors. By mitigating glare near windows and enhancing daylight penetration in deeper zones, the system successfully balanced illumination levels throughout the building. Beyond daylight optimization, the study highlights additional benefits of dynamic shading systems. By reducing glare and excessive solar gain, the system lowers cooling loads, thereby decreasing overall energy consumption. In doing so, the shading device not only enhances occupant comfort but also contributes to broader sustainability goals and energy efficiency targets set by national and international frameworks. The findings highlight the crucial role of computational design and parametric simulation in driving architectural innovation. The integration of software tools such as Honeybee, Ladybug, and Wallacei enables architects to explore vast design spaces and evaluate complex interactions between geometry, materials,



and environmental factors. These technologies facilitate data-driven design decisions that improve both occupant well-being and building performance. This research contributes to the growing field of kinetic architecture, which emphasizes adaptability, responsiveness, and performance-driven design. By demonstrating the effectiveness of kinetic shading systems in optimizing daylight in office spaces, the study provides evidence-based solutions for one of the most pressing challenges in contemporary architectural practice. Moreover, it highlights the necessity of integrating sensor technology, real-time control mechanisms, and advanced simulation tools into facade design to achieve resilient and sustainable buildings. In conclusion, daylight optimization through kinetic shading devices represents a promising approach to creating healthier, more efficient, and sustainable office environments. As urban centers like Tehran continue to grow and embrace modern architectural trends, balancing aesthetic aspirations with environmental performance becomes increasingly urgent. By adopting adaptive facade technologies informed by parametric simulations, architects can design office buildings that not only meet regulatory standards but also enhance occupant well-being, reduce energy consumption, and contribute to long-term sustainability. The research underscores that the future of high-performance office buildings lies at the intersection of responsive design, advanced computation, and environmental responsibility.

**Keywords:** Kinetic sunshade, Computational simulation, Office building, daylight

## بهینه‌سازی میزان گشودگی سایبان متحرک در راستای ارتقا بهره‌وری روشنایی نور روز با استفاده از شبیه‌سازی محاسباتی (موردپژوهی ساختمان اداری در شهر تهران)<sup>۱</sup>

آرزو ملک<sup>۲</sup>، روزبه نقشینه<sup>۳</sup>، علیرضا کریم‌پور<sup>۴</sup>، لیلا زارع<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۸-۱۲-۱۴۰۳، تاریخ پذیرش: ۲۴-۰۸-۱۴۰۴

DOI: 10.22034/rau.2025.2055367.1171

### چکیده

در معماری امروز باتوجه به نقش کلیدی نور در ارتقاء کیفیت محیط داخلی، بهینه‌سازی عملکرد نور روز جایگاه ویژه‌ای در فرایند طراحی یافته است. در جهت بهینه‌سازی میزان گشودگی سایبان متحرک برای بهبود بهره‌وری نور روز، مطالعه بر یک ساختمان اداری در بافت تهران انجام شده است. هدف اصلی، بهبود روشنایی نور روز مفید (UDI) از طریق ایجاد تعادل میان نفوذ نور طبیعی و کاهش خیرگی است. در این پژوهش مبانی نظری به وسیله مطالعات کتابخانه‌ای استخراج شده، سپس با شبیه‌سازی نور روز در افزونه هانی‌بی (Honeybee) و لیدی‌باگ (La-dybug) نسبت‌های مختلف بازشو به دیوار تحلیل شده و مؤثرترین نسبت شناسایی و در نمایی با ۸۰ درصد شفافیت میزان گشودگی سایبان متحرک بهینه‌سازی شده است. براین اساس، یک نمونه اولیه سایبان متحرک ساخته شده که از فناوری حسگر حساس به نور برای انطباق پویا با شرایط مختلف نور روز استفاده می‌کند. ارزیابی نشان می‌دهد که طراحی بهینه سایبان متحرک به‌طور قابل توجهی نور روز مفید (UDI) را بهبود می‌بخشد و توزیع نور طبیعی را در فضای اداری متعادل‌تر می‌کند. مقدار روشنایی فضایی مفید نور روز (sUDI) و میانگین روشنایی مفید نور روز (UDIavg) به ترتیب ۹/۱۰٪ و ۱/۸۱٪ افزایش یافته‌اند. نتایج، پتانسیل ابزارهای محاسباتی را در بررسی رویکردهای نوآورانه برای بهبود استفاده از نور روز نشان داده و با ادغام سایبان‌های جنبشی با فناوری حسگر پاسخگو راه‌حلی برای ایجاد نماهای ساختمانی سازگار ارائه می‌دهند. یافته‌ها بر ضرورت دستیابی به توزیع یکنواخت نور روز برای بهبود کیفیت محیط داخلی دلالت دارند و بر اهمیت ترکیب ابزارهای شبیه‌سازی پیشرفته با فناوری‌های نوآورانه در ساختمان‌های

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «بهینه‌سازی عناصر موثر بر نمای ساختمان به منظور ارتقاء بهره‌وری نور روز (مورد پژوهی بنای بلند اداری تهران)» است که با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم و مشاوره نگارنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب در حال انجام است.

۲. گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: arezoo.malek@iau.ac.ir

0009-0007-8612-9671

۳. گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: Roozbeh.naghashineh@iau.ac.ir

0000-0002-0897-813X

۴. گروه معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: alireza.karimpour@iau.ac.ir

0000-0001-5893-8497

۵. گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: zare.leila@iau.ac.ir

0000-0002-3315-3535



در مقایسه با انواع داخلی به‌ویژه در زمینه بهبود عملکرد انرژی و ارتقاء کیفیت روشنایی طبیعی اشاره دارند (کریم‌پور، دیبا و اعتصام، ۱۳۹۶: ۱۸). همچنین، برخی پژوهش‌ها بر قابلیت‌های نمای هوشمند به عنوان رویکردی نوین در مدیریت منابع انرژی و کنترل مؤثر نور روز تأکید کرده‌اند (حسینیان و لییب‌زاده، ۱۴۰۲: ۸۲). با توجه به این موارد و نقش قابل توجه ساختمان‌های اداری در الگوی مصرف انرژی کشور، طراحی بهینه سامانه‌های سایه‌انداز می‌تواند یکی از محورهای کلیدی در جهت‌گیری به سوی معماری پایدار محسوب شود. (شکل ۱) طراحی ساختمان‌های اداری با هدف حفاظت ساکنین از محیط بیرونی و دستیابی به آسایش ساکنین در محیط داخلی و با در نظر گرفتن تغییرات محیطی صورت می‌گیرد (Modin, 2014: 18). شدت بیش‌ازحد نور طبیعی و توزیع نامناسب آن در فضای داخلی، از جمله عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت دید و آسایش بصری در محیط‌های کاری به شمار می‌آیند (Kwong, Qi Jie, 2020). این مسئله در فضاهایی با سطوح وسیع شیشه‌ای و نمای بدون کنترل نظیر ساختمان‌های اداری با پنجره‌های تمام‌شیشه‌ای، نمود بیشتری پیدا می‌کند. در عین حال، کنترل و تنظیم نور طبیعی، به دلیل ویژگی‌های متغیر و وابسته به شرایط زمانی و اقلیمی، به‌مراتب پیچیده‌تر از سیستم‌های روشنایی مصنوعی است (M. Roshan, A.S., 2016: 59). در این میان، توجه به طراحی سیستم‌های سایه‌انداز و نمای هوشمند می‌تواند در مدیریت کیفیت نور و صرفه‌جویی انرژی تأثیرگذار باشد.

هدف اصلی این پژوهش، بهینه‌سازی نسبت گشودگی سایبان‌های متحرک در نمای ساختمان‌های اداری است.

اداری تأکید می‌کنند، همچنین راهبردهایی مؤثر برای بهبود استفاده از نور روز ارائه می‌دهند.

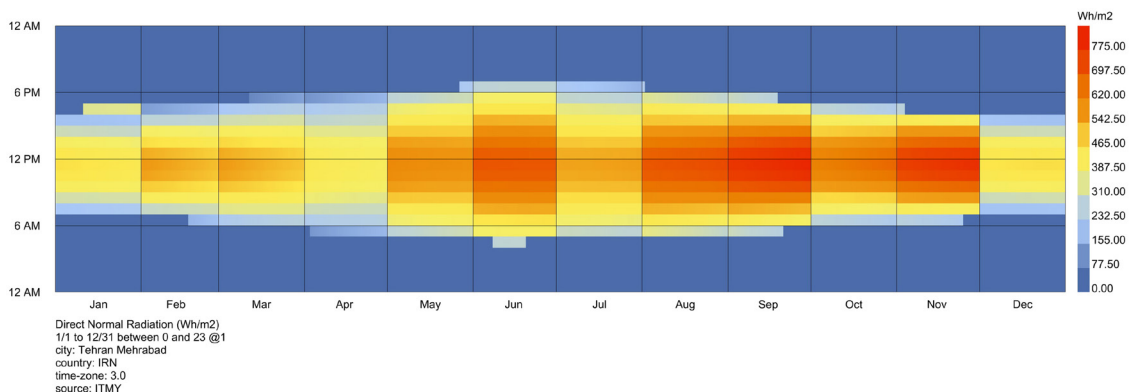
**کلیدواژه‌ها:** سایبان متحرک، شبیه‌سازی محاسباتی، ساختمان اداری، نور روز

### ۱. مقدمه

امروزه موضوع دسترسی کافی به نور روز در طراحی معماری توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. این توجه نه‌تنها به دلیل الزامات مقرراتی و استانداردهای روشنایی، بلکه به‌واسطه نقش مهم نور روز در تأمین آسایش بصری و سلامت کاربران مطرح است. نور طبیعی خورشید از عوامل اصلی در سنتز ویتامین D در بدن انسان محسوب می‌شود و در نتیجه، دسترسی مناسب به نور روز، فراتر از یک دغدغه عملکردی، به یک ضرورت برای رفاه و تندرستی تبدیل شده است.

یکی از چالش‌های اصلی در طراحی فضاهای اداری، ایجاد تعادل میان استفاده بهینه از نور روز و کنترل تابش بیش‌ازحد آن است. در شهرهایی مانند تهران که بخش قابل توجهی از سال با تابش مستقیم نور خورشید مواجه‌اند (شکل ۱)، این چالش پررنگ‌تر می‌شود. در عین حال، الگوی رایج در نمای ساختمان‌های اداری به‌سوی استفاده گسترده از پنجره‌های تمام‌شیشه‌ای سوق یافته است که گرچه بهره‌گیری از نور روز را افزایش می‌دهد، اما در بسیاری از موارد باعث بروز مشکلاتی نظیر روشنایی بیش از حد در نواحی نزدیک به پنجره و کم‌نوری در اعماق فضا می‌شود.

مطالعات پیشین به مزایای استفاده از سایبان‌های خارجی



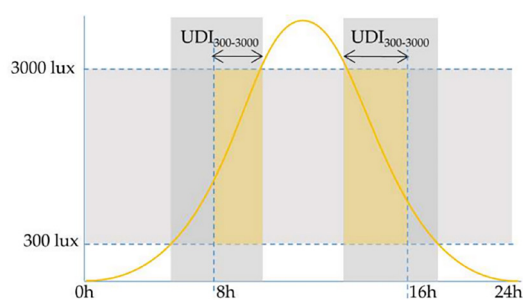
شکل ۱. نمودار توان تابشی مستقیم نور خورشید در تهران در بازه ۱۲ ماه سال با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی ایستگاه مهرآباد در افزونه لیدی‌باگ.

یافتن جوابی بهینه برای نسبت شفافیت به سطح از والاسی<sup>۷</sup> که برگرفته از الگوریتم ژنتیک می‌باشد، استفاده شده است. در انتها میزان گشودگی سایبان متحرک، در واقع زاویه پنل‌ها نسبت به صفحات نرمال تحلیل و بررسی شده تا در نهایت، تأثیر این پروتوتایپ بر شاخص مورد نظر مشخص شده و امکان دستیابی به بازه‌ای مناسب با توجه به موقعیت جغرافیایی تهران فراهم گردد.

شاخص روشنایی مفید نور روز بر اساس مقادیر روشنایی (E, Illuminance) در سطح صفحه‌کار که در ارتفاع ۰٫۷۶ متری از کف قرار دارد، محاسبه شده است. برای هر ساعت از سال، میزان روشنایی در این سطح شبیه‌سازی شده و برای تحقق سناریوی روشنایی روز، در مجموع ۲۴۵۲۸۰۰۰ مقدار روشنایی برآورد شده است (۲۸۰ نقطه در شبکه حسگر برای هر یک از ۸۷۶۰ ساعت سال، در ده نوع تحلیل مختلف). برای تحلیل نهایی، مقادیر مربوط به ساعات ۸:۰۰ تا ۱۶:۰۰ (۸ ساعت روز کاری) از شبانه تا چهارشنبه در نظر گرفته شده‌اند؛ که مجموعاً شامل ۲۰۸۸ ساعت کاری در طول ۲۶۱ روز کاری سال می‌شود. شکل ۲ محاسبه شاخص روشنایی مفید نور روز (300-UDI) را به صورت گرافیکی توضیح می‌دهد.

### ۳. پیشینه تحقیق

در این بخش، مجموعه‌ای از مقالات علمی و رساله‌های بین‌المللی دو سال اخیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا با شناسایی روند پژوهشی روز، به درک دقیق‌تری از فرصت‌ها و محدودیت‌های موجود در حوزه مورد مطالعه دست یافته



شکل ۲. UDI نشان‌دهنده وقوع سالانه نورهای روز است که در محدوده داده شده قرار می‌گیرند (منطقه خاکستری مشخص شده 300-3000 UDI مورد استفاده در این مقاله به محدوده ۳۰۰-۳۰۰۰ لوکس با ساعات کاری ۸-۱۶ محدود شده است (Marcin, Brzezicki, 2021).

به‌گونه‌ای که شرایط مطلوبی از نظر تأمین روشنایی طبیعی در فضای داخلی فراهم شود. تمرکز تحقیق بر دستیابی به توازن میان استفاده حداکثری از نور روز، ارتقای آسایش بصری کاربران، و کاهش وابستگی به منابع نوری مصنوعی در ساعات کاری است. در همین راستا، سؤالات اصلی پژوهش به این شرح مطرح می‌شوند. چه میزان گشودگی در سایبان متحرک می‌تواند سطح بهینه‌ای از روشنایی طبیعی را در فضای اداری ایجاد کند؟ چگونه می‌توان با استفاده از طراحی مناسب سایبان، توزیع نور را در عمق فضا کنترل و متعادل نمود؟

### ۲. روش تحقیق

به منظور بهینه‌سازی درصد شفافیت ساختمان و واکاوی پروتوتایپ ساخته‌شده برای یافتن جواب بهینه از نظر گشودگی سایبان متحرک، این پژوهش از رویکرد کمی مبتنی بر شبیه‌سازی بهره گرفته است. در این راستا ابتدا با استفاده از روش مطالعات کتابخانه‌ای، مطالعاتی بر مبنای تحقیقات موجود صورت‌گرفته و سایبانی متحرک توسط سنسور نور و موتور سروو طراحی شده است. سپس مدل‌سازی سه‌بعدی پارامتریک ساختمان مورد مطالعه با در نظر گرفتن شبیه‌سازی عوامل اقلیمی موجود در فایل آب‌وهوایی ایستگاه مهرآباد تهران و فاکتور ریدینس مصالح و سطوح با توجه به مقررات ملی انجام گرفته است. در این جهت از افزونه گرس‌هایپر<sup>۱</sup> در نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بعدی راینو<sup>۲</sup> برای شبیه‌سازی نور روز استفاده شده است (Fang and Cho, 2019: 9). به منظور دستیابی به مجموعه کاملی از تحلیل‌های نور روز از هانی‌بی<sup>۳</sup> و لیدی‌باگ<sup>۴</sup> استفاده شده است که از افزونه‌های پیشرفته شبیه‌سازی نور روز، برای نرم‌افزار راینو هستند (مسعود؛ زمانی، ۶: ۱۴۰۴). هانی‌بی و لیدی‌باگ در گرس‌هایپر می‌توانند مدل‌هایی را برای تجزیه و تحلیل نور روز شبیه‌سازی کنند (Roudsari et al., 2013: 3128). همچنین نرم‌افزارهایی متن‌باز هستند که کد نوشته‌شده مصالح، هندسه‌ها و ساختارها را می‌توان در آنها خواند (Motamedi and Liedl, 2017: 658). اساس سازوکار این افزونه‌ها شبیه‌سازی‌های نور روز بر اساس رادیانس<sup>۵</sup> است (Toutou et al., 2018: 3601).

بررسی شرایط محیطی به صورت سالانه و روشنایی مفید نور روز فضای کار اداری برحسب شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI<sup>۶</sup>) اندازه‌گیری و تحلیل و بررسی می‌شود و به جهت

جدول ۱. تحلیل پیشینه تحقیق.

سال پژوهش: ۲۰۲۵	عنوان: Daylighting performance evaluation in tropical lecture rooms: A comparative analysis of static and climate-based metrics.	نویسندگان: Edidiong Ukpong, Francis O. Uzuogunam, Eziyi O. Ibem, Emmanuel Udomiaye	۱
	این مقاله با هدف بررسی عملکرد نور روز در کلاس‌های درس مناطق گرمسیری و مقایسه دو روش ارزیابی (معیارهای استاتیک و معیارهای مبتنی بر اقلیم) از طریق شبیه‌سازی محاسباتی با استفاده از مدل‌های نورپردازی برای مقایسه تأثیر روش‌های مختلف ارزیابی نور طبیعی استفاده کرده است. این بررسی نشان داد معیارهای مبتنی بر اقلیم دقت بیشتری در پیش‌بینی بهره‌وری نور روز داشتند، در حالی که معیارهای استاتیک توانایی محدودی در تحلیل دینامیک نور طبیعی داشتند (Ukpong et al., 2025).		
سال پژوهش: ۲۰۲۵	عنوان: Daylighting Performance of Innovative Sun-Tracking Prismatic Vertical Louvers (PVL) System: A Comparative Study.	نویسندگان: Masoome Haghani, Wayne Place, Gregory Dale Buckner	۲
	در این تحقیق، با استفاده از شبیه‌سازی دیجیتال برای مقایسه سامانه‌های سایبان‌های سایه‌اندازی متحرک و ثابت به هدف بررسی عملکرد کرکره‌های منسوری متحرک (PVL) برای بهینه‌سازی نور روز در ساختمان‌ها پرداخته شده است. نتایج نشان داد، کرکره‌های منسوری متحرک به‌طور قابل توجهی باعث بهبود توزیع نور طبیعی و کاهش خیرگی شدند، اما کنترل دقیق‌تر نیاز برای عملکرد بهینه چالش‌هایی را ایجاد کرد (Haghani et al., 2025).		
سال پژوهش: ۲۰۲۵	عنوان: Influence of two motion types on solar transmittance and daylight performance of dynamic façades	نویسندگان: Ibrahim, A., Alsukkar, M., Dong, Y., & Hu, P.	۳
	با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای تحلیل تأثیر سایبان‌های دوزنقه‌ای بر نور طبیعی و انرژی به یک طراحی بهینه سایبان‌ها با فرم دوزنقه‌ای رسیدند که موجب بهبود کنترل نور و کاهش مصرف انرژی شد، اما نیاز به تنظیمات خاص برای موقعیت‌های اقلیمی مختلف داشت (Ibrahim, et al., 2025).		
سال پژوهش: ۲۰۲۴	عنوان: Dynamic and Adaptive Photovoltaic Shading Systems: Design and Architectural Integration for Energy Production and Indoor Comfort.	نویسنده: Roshan Kharrat	۴
	هدف این پژوهش، بررسی و طراحی سایبان‌های فتوولتائیک هوشمند برای تولید انرژی و بهینه‌سازی نورپردازی داخلی است. یک مطالعه شبیه‌سازی با استفاده از ترکیب مدل‌سازی پارامتریک و شبیه‌سازی انرژی برای ارزیابی عملکرد سایبان‌های خورشیدی متحرک شده است و نتایج نشان داد، سایبان‌های فتوولتائیک متحرک باعث بهینه‌سازی هم‌زمان تولید انرژی خورشیدی و کاهش وابستگی به نور مصنوعی شدند، اما چالش‌های اقتصادی در اجرای این فناوری باقی ماند (Kharrat, 2024).		
سال پژوهش: ۲۰۲۴	عنوان: Parametric design of daylight redirecting devices for dome buildings: case study of mosque buildings in Saudi Arabia.	نویسنده: Alkhater	۵
	در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی نورپردازی داخلی با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای برای تحلیل تأثیر دستگاه‌های نوری هدایت‌کننده به طراحی پارامتریک دستگاه‌های هدایت‌کننده نور برای بهینه‌سازی روشنایی طبیعی در مساجد با سقف گنبدی پرداخته شد و یافته‌ها نشان داد، استفاده از دستگاه‌های هدایت‌کننده نور به‌طور مؤثری موجب کاهش نیاز به نور مصنوعی شد، اما طراحی این سامانه‌ها نیاز به تنظیمات خاصی بر اساس موقعیت اقلیمی دارد (Alkhater, 2024).		

است تا تعادل مطلوبی میان افزایش بهره‌وری نور روز و کاهش خیرگی ایجاد شود. علاوه بر این، به‌منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی و امکان پیاده‌سازی عملی راهکار پیشنهادی، یک نمونه اولیه سایبان هوشمند متحرک نیز طراحی و ساخته شده است که قادر است بر اساس داده‌های بهینه‌سازی شده، میزان گشودگی خود را تنظیم کند. این رویکرد، علاوه بر دقت بالاتر در ارزیابی عملکرد سایبان، امکان بهینه‌سازی هدفمند کیفیت روشنایی داخلی و ارائه یک راهکار اجرایی در معماری پایدار را فراهم می‌کند که در مطالعات گذشته کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

شود. این مرور ادبی به منظور بهره‌گیری از یافته‌های معتبر و جهت‌دهی مؤثر به مسیر تحقیق حاضر انجام شده است. با توجه به «جدول ۱» در مطالعات پیشین، اغلب بهینه‌سازی سایبان‌های متحرک بر مبنای معیارهای کلی روشنایی روز انجام شده است. نوآوری این پژوهش در تمرکز بر شاخص‌های دقیق روشنایی نور روز، یعنی روشنایی مفید نور روز فضایی (sUDI) و میانگین روشنایی مفید نور روز (UDIavg) و بهینه‌سازی آنها از طریق شبیه‌سازی محاسباتی و الگوریتم ژنتیک نهفته است. در این تحقیق، بازه بهینه گشودگی سایبان متحرک در ساختمان‌های اداری تهران تعیین شده

#### ۴. چهارچوب نظری تحقیق

در بخش چهارچوب نظری، با تکیه بر مطالعات کتابخانه‌ای، شاخص‌های سنجش عملکرد نور روز، شامل شاخص‌های پویا، معرفی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین، رویکردهای بهینه‌سازی در این حوزه با تأکید بر کاربرد الگوریتم‌های ژنتیک بررسی شده و نقش آنها در بهبود عملکرد طراحی تحلیل شده است.

میانگین تمام نقاط اندازه‌گیری شده برای منطقه مورد تجزیه و تحلیل برای به‌دست‌آوردن یک مقدار نهایی روش دیگری برای محاسبه این متریک است. میانگین روشنایی مفید نور روز (UDIavg) نامی است که به این معیار داده شده است. میانگین محدوده محاسبه شده UDI بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس است (جدول ۲). فرمول محاسبه آن به شرح زیر است:

$$UDI_{avg} = \frac{\sum_{all\ points} UDI\ of\ each\ point}{Total\ number\ of\ points}$$

#### ۴.۱. کاربرد شاخص پویا

شاخص، ترکیبی ریاضی از اندازه‌گیری‌ها و یا ابعاد و یا شرایط (به طور بالقوه متفاوت) است که در مقیاس پیوسته نشان‌دهنده می‌شود (Mardaljevic et al., 2009: 262). هدف مورد انتظار از یک شاخص، ترکیب عوامل مختلف برای پیش‌بینی بهتر عملکرد است (همان). در شاخص‌های پویا و مبتنی بر اقلیم از اطلاعات فایل آب‌وهوایی استفاده می‌شود و مقدار روشنایی را در کل سال بررسی می‌کنند. در تحلیل‌های سالانه یکی از اهداف، استفاده از طیف وسیعی از اطلاعات آب‌وهوایی هر منطقه است که توسط مدل‌سازی در طراحی ساختمان استفاده می‌گردد.

بر اساس منابع منتشرشده، روشنایی‌های نور روز در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس به عنوان مؤثر چه به صورت تنها منبع روشنایی و یا همراه با نور مصنوعی در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر این، نور روز در محدوده ۳۰۰ تا حدود ۳۰۰۰ لوکس اغلب به عنوان مطلوب یا قابل تحمل تلقی می‌شود. توجه داشته باشید که این مقادیر بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در ساختمان‌های غیرمسکونی و عمدتاً اداری است که در آن تابش خیره‌کننده ناشی از نور روز در دستگاه‌های نمایش بصری یک مشکل رایج است. بسیاری از این بررسی‌ها قبل از رایج شدن پنل‌های نمایشگر ال‌سی‌دی<sup>۱۲</sup> (LCD) که بسیار کمتر از صفحه‌های سی‌آرتی<sup>۱۳</sup> (CRT) مستعد تابش خیره‌کننده هستند، انجام شده است (Mardaljevic et al., 2012: 191).

#### ۴.۲. کاربرد شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI)

شاخص مورد استفاده برای ارزیابی تأمین روشنایی روز، طرح «روشنایی مفید نور روز» (UDI) بود که توسط ماردالیویچ<sup>۱۴</sup> و نیبل<sup>۱۵</sup> در سال ۲۰۰۵ ابداع شد. به عنوان کسری از زمانی در مواقع اشغال فضا در سال تعریف می‌شود که روشنایی افقی نور روز در یک نقطه معین در یک محدوده معین قرار می‌گیرد. محدوده همانطور که از نامش پیداست، نه خیلی تیره (lux300) و نه خیلی روشن (lux3000) است. حد بالایی می‌تواند گرمایش و خیرگی بیش از حد ایجاد کند و فضاهایی با حد پایین به دلیل عدم کفایت نور روز، باید از نور مصنوعی استفاده کنند. این شاخص از جمله شاخص‌های پویا بوده و بر اساس روشنایی اندازه‌گرفته‌شده بر سطح میز کار محاسبه می‌شود (Carlucci et al., 2015: 1018).

جدول ۲. شرح شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI) برای محدوده سطوح ارزیابی‌شده (Mardaljevic et al., 2012: 194).

محدوده روشنایی	شرح UDI	مخفف
< 100 lux	UDI 'fell-short'	UDI-f
> 100 and < 300 lux	UDI supplementary	UDI-s
> 300 and < 3000 lux	UDI autonomous	UDI-a
>3000 lux	UDI exceeded	UDI-e

#### ۴.۳. الگوریتم بهینه‌سازی

مدل‌سازی پارامتریک ابزاری برای فرایند طراحی خلاقانه است، این روش با ارائه راه‌حل‌های متنوع، امکان ارزیابی چندین گزینه را پیش از انتخاب راه‌حل قطعی فراهم می‌کند. اگر مدل‌سازی پارامتریک با یک ابزار کمکی تصمیم‌گیری مانند الگوریتم‌های

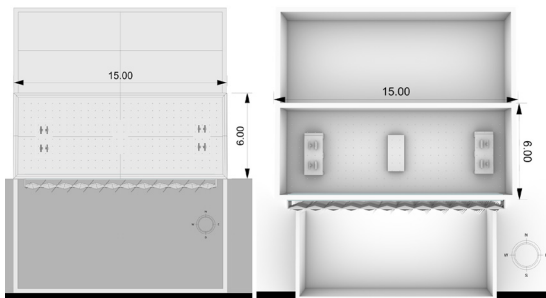
$$UDI\ \% = \left( \frac{Time\ spent\ within\ 300-3000\ lux}{Total\ occupied\ time} \right) \times 100$$



### ۵.۱. ساختمان اداری مورد مطالعه در تهران

باتوجه به بررسی قطعه‌بندی زمین‌ها در مناطق اداری، قطعات بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ مترمربع، بیشترین تمرکز را در مناطق شمال شرق تا مرکز شامل ۶، ۴، ۵ و ۳ دارند (رصدخانه شهری تهران، ۱۳۹۶: ۲۲)، بنابراین مدل مورد مطالعه طرحی از ساختمان اداری در تهران در زمینی به مساحت ۳۰۰ مترمربع و ابعاد ۱۵ در ۲۰ و سطح اشغال ۶۰٪ می‌باشد که فضای اداری آن در محیطی به ابعاد ۱۵×۶ مترمربع در قسمت جنوبی قرار دارد (شکل ۳) و شبکه‌ای از سنسورها به تعداد ۲۸۰ عدد در آن حساب گردیده است تا بتوان تأثیر سایبان متحرک را از طریق بازشو ضلع جنوبی که بیشترین دریافت تابش در طول سال را دارد، بر فضا ارزیابی نمود (شکل ۴). این ساختمان به تعداد ۷ طبقه است که به‌طور میانگین طبقه ۴ برای شبیه‌سازی انتخاب شده است. بازه زمانی مورد مطالعه ۱۲ ماه سال از ساعت ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر می‌باشد. با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان برای ساختمان اداری سطح مورد تحلیل در ارتفاع ۷۶ سانتی متر از کف اتاق محاسبه می‌گردد (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹: ۵۱).

همانطور که گفته شد مقدار بازتاب سطوح داخلی و جنس دیوار و کف و سقف از منظر صیقلی یا زبربودن در مقادیر نور روز دریافتی فضا اهمیت دارد، در مرحله طراحی که هنوز فاز دو و رنگ و جنس مواد مشخص نشده است می‌توان بازتاب سطوح را با دقت مشخص شده در راهنماها در نظر گرفت، ویرایش چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان مقادیر بازتاب جداره‌ها و مبلمان فضا را به صورت زیر معرفی کرده است (جدول ۳). این اعداد برای احراز شرایط نور و فرایند مقایسه حالات مختلف پیشنهاد می‌گردد.

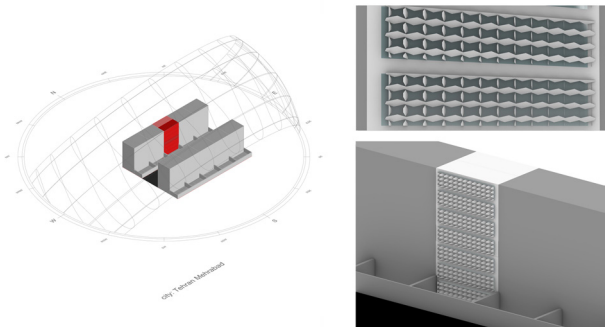


شکل ۴. مدل شبیه‌سازی و شبکه سنسورها.

بهینه‌ساز ادغام شود می‌توان راه حل‌های مناسبی را به‌دست‌آورد (مولایی؛ یونسی، ۵۲: ۱۴۰۳). در این پژوهش برای بهینه‌سازی از افزونه‌والاسی استفاده شده که بر پایه الگوریتم ژنتیک برنامه‌نویسی شده است، این الگوریتم از دومین الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده غیرغالب (NSGA-II)<sup>۱۴</sup> برای بهینه‌سازی استفاده می‌کند. در حوزه بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده غیر غالب (NSGA) (Yusoff et al., 2011: 3980)، که دومین تکرار آن در سال ۲۰۰۲ منتشر شد (Deb et al., 2002: 181)، یک رویکرد قابل اعتماد است. بسیاری از محققان از الگوریتم ژنتیک برای مطالعات خود استفاده کردند (Baghoolizadeh et al., 2022a; Baghoolizadeh et al., 2023a; Rostamzadeh-Renani et al., 2022b). با توجه به اینکه تعداد حالت‌های بررسی زیاد است، الگوریتم ژنتیک فقط به دنبال راه‌حل‌های بهینه است. این بدان معنی است که ابتدا یک جمعیت اولیه در محیط گرس‌هاپر آزموده می‌شود و نتایج آن به الگوریتم ژنتیک باز می‌گردد.

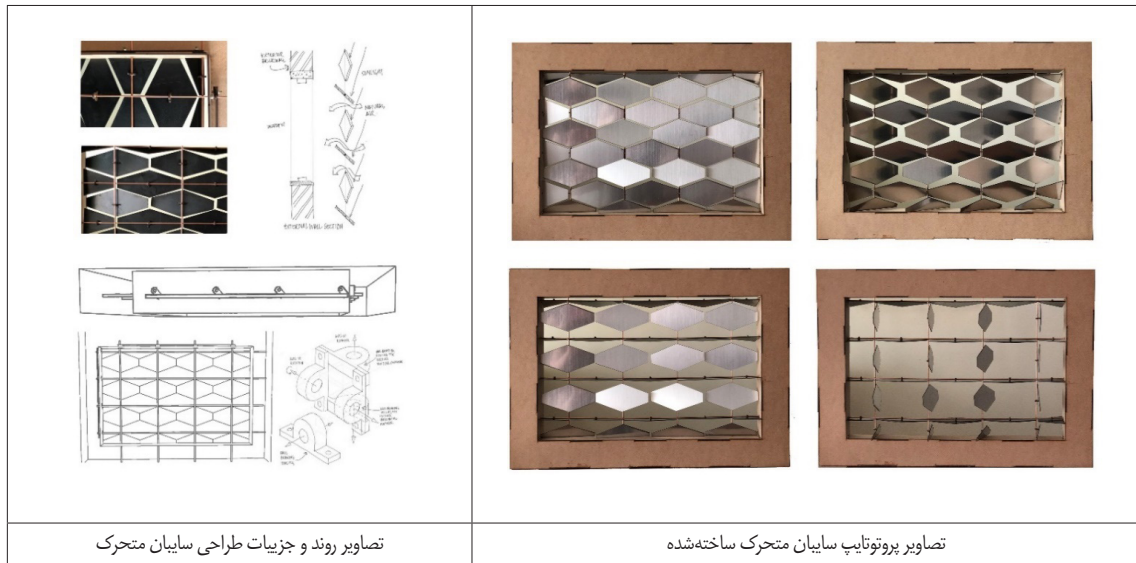
### ۵. مطالعه موردی

در این قسمت، یک ساختمان اداری به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. معیارهای انتخاب شامل نوع کاربری، موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و امکان‌سنجی پیاده‌سازی راهکارهای طراحی پاسخگو به نور روز است. مشخصات کالبدی و عملکردی ساختمان از جمله ابعاد، جهت‌گیری، مصالح و الگوی بهره‌برداری به‌تفصیل ارائه شده‌اند. در ادامه، نمونه اولیه‌ای از سایبان متحرک معرفی و سازوکارهای به‌کاررفته در سامانه‌های سایه‌انداز پاسخ‌گو تشریح شده است. همچنین، روند انتخاب، طراحی و پیاده‌سازی این سامانه‌ها بر مبنای عوامل محیطی و عملکردی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳. تصاویر نمونه ساختمان اداری مورد مطالعه و مدل سایبان متحرک طراحی شده.





شکل ۷. سایبان متحرک ساخته‌شده.

## ۶. بحث اصلی

فرایند تحلیل در دو مرحله مجزا اما وابسته به یکدیگر سازمان‌دهی شده است. در مرحله نخست، نسبت بازشو به دیوار به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد نور روز در فضای داخلی ارزیابی و بهینه‌سازی شده و خروجی‌های این مرحله به عنوان مبنای شبیه‌سازی سایبان متحرک در گام دوم مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، میزان گشودگی سایبان با هدف دستیابی به مقادیر مطلوب شاخص روشنایی روز، تحت شرایط اقلیمی و بهره‌برداری مشخص، بهینه‌سازی شده است. این ساختار مرحله‌بندی شده امکان تحلیل هدفمند و دقیق تأثیر متغیرهای طراحی بر عملکرد روشنایی را فراهم می‌سازد.

### ۶.۱. نتایج بهینه‌سازی نسبت بازشو به دیوار<sup>۱۷</sup> (WWR) در ساختمان نمونه

پس از مدل‌سازی مدل ابتدایی و شبیه‌سازی شرایط آب‌وهوایی توسط فایل آب‌وهوایی ای‌پی‌دلیو (EPW)<sup>۱۸</sup> و افزودن میزان بازتاب مصالح و سطوح و همسایگی‌های شهری به الگوریتم شبیه‌سازی به تحلیل و یافتن جواب بهینه از بین نسبت‌های مختلف سطح بازشو به دیوار به روش الگوریتم بروت‌فورس<sup>۱۹</sup> پرداخته شده است. با توجه به روش کار این

الگوریتم که به یافتن کمینه‌ترین حالت می‌پردازد، در دستور الگوریتم جواب تابع هدف معکوس و سپس به الگوریتم انتقال داده شده است.

در سال‌های اخیر سطح شیشه‌ای در نمای اداری تهران رو به افزایش است و طبق مقررات ملی ساختمان نمای شیشه‌ای است که دارای پوشش حداقل ۶۰ درصد از شیشه باشد (مقررات ملی ساختمان مبحث چهارم، ۱۳۹۲: ۱۴). در این پژوهش نماهای شیشه‌ای در نرم‌افزار شبیه‌سازی و از نظر روشنایی مفید نور روز سالیانه در والاسی بهینه‌سازی و سه مورد برتر آن در جدول ۵ تحلیل شده‌اند. با توجه به نتایج نمای شیشه‌ای ۸۰ درصد به‌طور میانگین در ۳۹/۲۴٪ از مواقع اشغال فضا روشنایی نور روز مفید بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس را دریافت می‌کند و به‌طور کلی ۴۳/۵۷٪ از مساحت آن در ۵۰٪ از زمان اشغال روشنایی مفید نور روز در بازه گفته‌شده را تا مین می‌کند. با توجه به دیگرام تحلیل شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI) در جدول، نقاط نزدیک به شیشه دارای امکان خیرگی در بیشتر سال و همچنین نقاط دورتر، دارای کمبود نور روز می‌باشند. این مقادیر در نمای ۷۰ درصد شیشه به ۳۶/۰۷٪ میانگین روشنایی مفید نور روز سالیانه و ۴۲/۱۴٪ روشنایی فضایی مفید نور روز می‌رسد و همچنین این مقادیر در نمای ۶۰ درصد به ترتیب ۳۵/۷۱٪ و ۴۱/۲۱٪ می‌باشد.

جدول ۵. جدول تحلیل میزان شفافیت بازشو جنوبی بر اساس روشنایی مفید نور روز.

UDI Analysis	Fitness Values	sUDI	WWR	$\frac{1}{UDI_{min}}$	UDI <sub>avg</sub>	GENE
		۴۳.۵۷٪	۸۰٪	۰.۰۰۰۰۹۱	۳۹.۲۴٪	Ind.6
		۴۲.۱۴٪	۷۰٪	۰.۰۰۰۰۹۹	۳۶.۰۷٪	Ind.2
		۴۱.۳۱٪	۶۰٪	۰.۰۰۰۰۱	۳۵.۷۱٪	Ind.3

داده شده تا بهترین آن را بیابد. با نظر به نتایج تحلیل بیشین در جدول ۵، ساختمان نمونه ارائه شده با ۸۰٪ شفافیت در جداره و با استفاده از پروتوتایپ سایبان متحرک در آن به عنوان عاملی برای بهبود نور مناسب طبیعی در داخل فضا با میزان درجات گشودگی مختلف شبیه‌سازی گردیده تا بهینه‌ترین میزان آن در طول سال ارزیابی شده و میزان بهبود نور دریافتی با قبل از استفاده از سایبان متحرک مشخص شود.

## ۲.۶. نتایج شبیه‌سازی محاسباتی سایبان متحرک در ساختمان نمونه

به دلیل ازدیاد شبکه نقاط (۲۸۰ در هر مرتبه)، روشنایی مفید نور روز به صورت میانگین بیان شده است و با توجه به اینکه ابزار والاسی به صورت پیش‌فرض توابع را به کمینه‌ترین حالت میل می‌دهد، برای بهینه‌سازی آن مجموع روشنایی مفید نور روز نقاط که افزایشی هستند، به صورت معکوس به الگوریتم

جدول ۶. میزان روشنایی مفید نور روز در زاویه‌های مختلف گشودگی سایبان متحرک.

زاویه گشودگی	۱۰°	۲۰°	۳۰°	۴۰°	۵۰°	۶۰°	۷۰°	۸۰°	۹۰°	۱۰۰°
UDI <sub>avg</sub>	۲۷٫۴۷٪	۳۵٫۷۱٪	۳۷٫۲۰٪	۳۷٫۲۰٪	۳۶٫۴۴٪	۳۸٫۴۰٪	۴۰٫۱۲٪	۴۰٫۵۸٪	۴۱٫۰۵٪	۳۵٫۷۱٪
$\frac{1}{UDI_{sum}}$	۰٫۰۰۰۱۳	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۹۶	۰٫۰۰۰۰۰۹۶	۰٫۰۰۰۰۰۹۸	۰٫۰۰۰۰۰۹۳	۰٫۰۰۰۰۰۸۹	۰٫۰۰۰۰۰۸۸	۰٫۰۰۰۰۰۸۷	۰٫۰۰۰۰۰۱

پراکنده و مستقیم دریافت‌کرده و همچنین از بروز خیرگی جلوگیری شود و در نهایت به آسایش بصری بیانجامد. همانطور که در «جدول ۷» مشاهده می‌شود در تحلیل شاخص روشنایی مفید نور روز در این میزان گشودگی، ۵۲٫۱۴٪ و ۵۳٫۲۱٪ از مساحت فضا در ۵۰٪ از زمان اشغال نور روز در محدوده آسایش تعیین‌شده قرار دارد، که مطلوب می‌باشد. به‌طور میانگین در این بازه از گشودگی (۷۰° الی ۹۰° درجه)، فضا

با نظر به «جدول ۶»، میزان روشنایی مفید نور روز در زوایای ۱۰ تا ۱۰۰ درجه پس از بهینه‌سازی با استفاده از والاسی محاسبه و مقدار روشنایی مفید نور روز میانگین با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در میزان گشودگی ۷۰ و ۸۰ و ۹۰ درجه، افزایش روشنایی مفید نور روز میانگین وجود دارد و به عنوان بازهٔ بهینه مورد قبول است. این افزایش سبب می‌شود محیط داخل در بازهٔ سالانه، نور مناسبی (بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس) را از آسمان به صورت

جدول ۷. تحلیل میزان گشودگی بهینه سایبان متحرک بر اساس روشنایی مفید نور روز.

UDI Analysis	Fitness Values	sUDI	Optimum angle	$\frac{1}{UDI_{sum}}$	UDI <sub>avg</sub>	GENE
		۵۳٫۲۱٪	۹۰°	۰٫۰۰۰۰۸۷	۴۱٫۰۵٪	Ind.7
		۵۲٫۱۴٪	۷۰°	۰٫۰۰۰۰۸۹	۴۰٫۱۲٪	Ind.9

با تعریف درجات مختلف گشودگی مورد بهینه‌سازی و تحلیل قرار گرفت و به‌طور کلی ۲۴۵۲۸۰۰۰ مقدار روشنایی تحلیل گردید. نتایج نشان داد، در این نمونه استفاده از سایبان متحرک عملکرد مناسبی داشته و سبب بهبود دریافت روشنایی نور روز مفید در فضای داخلی شده است و به‌طور کلی بهتر است میزان گشودگی این سایبان در طول سال بین ۷۰ تا ۹۰ درجه قرار بگیرد. در این بازه از گشودگی میزان شاخص روشنایی مفید نور روز فضایی (SUDI) به‌طور میانگین ۹/۱۰٪ افزایش یافت.

با توجه به نتایج ذکر شده این میزان گشودگی، تعادل مطلوبی میان تأمین روشنایی طبیعی و کاهش خیرگی برقرار می‌سازد و همچنین با توجه به نیاز کمتر به روشنایی الکتریکی کمک به بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌نماید. براین اساس، به‌کارگیری سایبان متحرک با قابلیت تنظیم در محدوده ذکر شده، به عنوان یک راهکار کارآمد در طراحی ساختمان‌های اداری پیشنهاد می‌شود. یکی از محدودیت‌های این مطالعه، تمرکز آن بر طبقه چهارم یک ساختمان هفت طبقه است. این انتخاب به‌منظور حفظ دقت و کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی انجام شده است، اما باید توجه داشت که رفتار نور در سایر طبقات، به‌ویژه طبقات نزدیک به بام و همکف، ممکن است متفاوت باشد. علاوه بر این، تنوع بالای مصالح ساختمانی و ضرایب بازتاب مختلف یکی دیگر از محدودیت‌های پژوهش محسوب می‌شود. از آنجا که مصالح متنوعی با ویژگی‌های نوری متفاوت در صنعت ساختمان استفاده می‌شود، تأثیر هر یک بر میزان شاخص نور متفاوت خواهد بود. به‌منظور استانداردسازی داده‌ها و افزایش قابلیت اجرایی نتایج، این تحقیق از مصالح رایج معرفی شده در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بهره برده است.

با توجه به محدودیت‌های ذکر شده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آینده به بررسی جنبه‌های زیر بپردازند.

اگر تعداد لایه‌های سایبان افزایش یابد، چه تأثیری بر میزان نور روز خواهد داشت؟ آیا سایبان‌های چندلایه می‌توانند کنترل بهتری بر شدت و کیفیت روشنایی طبیعی ایجاد کنند؟ استفاده از مصالح هوشمند در ساخت سایبان متحرک چه اثری بر عملکرد سایبان خواهد داشت؟ آیا این مصالح می‌توانند میزان گشودگی سایبان را به صورت خودکار و بهینه تنظیم کنند؟ پاسخ به این پرسش‌ها می‌تواند به توسعه طراحی بهینه سایبان‌های متحرک و بهبود بهره‌گیری از نور طبیعی در فضاهای داخلی کمک کند.

در (۴۰/۱۲٪ الی ۴۱/۰۵٪) از مواقع اشغال فضا روشنایی نور روز مفید بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس را دریافت می‌کند که نسبت به نمای بدون سایبان با ۸۰ درصد شفافیت، افزایش ۱/۸۱ درصدی داشته است. همچنین با توجه به دیاگرام ارائه شده در «جدول ۷»، قابل استنباط است که یکنواختی توزیع نور در محیط بهبود مناسبی داشته و همچنین میزان شدت خیرگی در نقاط نزدیک به بازو کاهش قابل توجهی دارد و در انتهای فضا درصد کمتری از مساحت فضا در زمان اشغال، از نور روز بی‌بهره است. در مقایسه با مطالعات ذکر شده در پیشینه پژوهش، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از سایبان‌های متحرک و تنظیم میزان گشودگی آنها می‌تواند کنترل بهتری بر کیفیت نور روز داشته باشد و شاخص روشنایی مفید نور روز را نسبت به راهکارهای ثابت و غیرفعال بهبود دهد. برخلاف مطالعاتی که صرفاً به مقایسه شاخص‌های مختلف نور روز پرداخته‌اند، این پژوهش با ساخت یک پروتوتایپ واقعی از سایبان متحرک و شبیه‌سازی میزان بهینه گشودگی آن، نشان داده است که کنترل تطبیقی سایبان می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود کیفیت نور روز داشته باشد به طوری که تعادل مناسبی در میزان نور دریافتی برای جلوگیری از خیرگی ایجاد شود.

## ۷. نتیجه‌گیری

باتوجه به اهمیت استفاده بهینه فناوری‌های نوین در ساختمان‌های اداری به علل افزایش رضایت و آسایش کارکنان و بحث‌های زیست محیطی، و همچنین افزایش ساختمان‌های با نمای شفاف در تهران، در این پژوهش هدف آن بود که با طراحی یک پروتوتایپ سایبان متحرک و به‌کارگیری آن در نمای شفاف مناسب، به میزان گشودگی بهینه برای دریافت روشنایی مفید نور روز در بازه آسایشی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس دست یافت به طوری که در بیش از ۵۰ درصد از مساحت فضا در ۵۰ درصد از زمان اشغال که در این پژوهش یکسال بود، نور روز دریافتی در این بازه مطلوب قرار گیرد.

در این راستا، پژوهش از مدل‌سازی و طراحی سایبان متحرک و تعریف نوع حرکت آن، به صورت چرخشی و تعریف میزان درصد شفافیت بدنه نمای جنوبی با استفاده از روش الگوریتم بهینه‌سازی پروت‌فورس و استفاده از افزونه والاسی، ۸۰ درصد شفافیت در این نمونه، که دارای روشنایی مفید نور روز فضایی (SUDI)، ۴۳/۵۷٪ می‌باشد، شروع شد و سپس

## پی‌نوشت‌ها

- |                                |  |   |   |
|--------------------------------|--|---|---|
| 1. Grasshopper                 | 7. Wallacei                            | 11. Nabil                                   | 16. Arduino Uno                                     |
| 2. Rhinoceros 3D               | 8. Spatial Useful Daylight Illuminance | 12. Liquid Crystal Display                  | 17. Window to Wall Ratio                            |
| 3. HoneyBee                    | 9. Average Useful Daylight Illuminance | 13. Cathode Ray Tube                        | 18. EnergyPlus Weather File, energyplus.net/weather |
| 4. LadyBug                     | 10. Mardaljevic                        | 14. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm | 19. Brute Force                                     |
| 5. Radiance                    |  | 15. Servo Motor                             |   |
| 6. Useful Daylight Illuminance |  |   |   |

## فهرست منابع

- حسینیان، هدیه سادات؛ لیب‌زاده، رضیه (۱۴۰۲)، ارتقای اصول طراحی نماهای هوشمند در ساختمان‌های اداری با بهره‌گیری از روش اینترنت اشیا، رهیوبه معماری و شهرسازی، شماره ۷، ۹۴-۸۱.
- رصدخانهٔ شهری تهران (۱۳۹۶)، رصد وضعیت شهرسازی تهران: نظام قطعه‌بندی و کاربری زمین، تهیه‌کنندگان: مجتبی رفیعیان، فرزاد شیروان‌بیگی و احمد فرهادی‌پور، تهران: سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- کریم‌پور، علیرضا؛ دیبا، داراب؛ اعتصام، ایرج (۱۳۹۶)، تحلیل تأثیر آفتاب‌گیرهای داخلی بر مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مطالعه موردی: واحد مسکونی در تهران)، شماره ۳۰، ۱۷-۳۰، <https://civilica.com/doc/980082>.
- شادان، مسعود؛ زمانی، زهرا (۱۴۰۴)، بهبود کیفیت نور روز کلاس درس در عرض‌های مختلف جغرافیایی از طریق طاقچه نوری، نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۱۴۰۴، ۱۵ (۲): ۱-۱۶.
- مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)، مبحث چهارم: الزامات عمومی ساختمان، ویرایش دوم، تهران: وزارت راه و شهرسازی، صفحهٔ ۱۴.
- مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹)، مبحث نوزده: صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ویرایش چهارم، تهران: وزارت راه و شهرسازی،، صفحهٔ ۵۱ و ۵۲.
- ملک، آرزو و طلایی، آویده، (۱۴۰۲)، مطالعه تطبیقی نماهای متحرک ساختمان‌های اداری تهران بر اساس آسایش بصری ساکنین با شاخص (DGP)، (SDG)، شماره ۳، ۱۰۲-۸۵، <https://civilica.com/doc/1617790>.
- مولایی، محمدمهدی؛ یونسی، مریم (۱۴۰۳)، بهینه‌سازی چندهدفه فرم پارامتریک بنای مسکونی بومی بر پایه آسایش در اقلیم گرم و خشک شهر یزد، نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۱۴۰۳، ۱۴ (۴): ۴۷-۸۴.
- Aelenei, D., L. Aelenei, and C. P. Vieira. 2016. "Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions." *Energy Procedia* 91 (Supplement C): 269–275.
- Alkhater, M. (2024). Parametric design of daylight redirecting devices for dome buildings: Case study of mosque buildings in Saudi Arabia. University of Nottingham. <https://eprints.nottingham.ac.uk/79854/>
- Baghoolizadeh, M., et al., 2022a. The effect of photovoltaic shading with ideal tilt angle on the energy cost optimization of a building model in European cities. *Energy Sustain. Dev.* 71, 505–516.
- Baghoolizadeh, M., et al., 2023a. Multi-objective optimization of Venetian blinds in office buildings to reduce electricity consumption and improve visual and thermal comfort by NSGA-II. *Energy Build.* 278, 112639.
- Carlucci, S., Causone, F., Derosa, F., Pagliano, L., 2015. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 47, 1016–1033.
- Deb, K., et al., 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans. Evolut. Comput.* 6 (2), 182–197.
- Fang, Y., Cho, S., 2019. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. *Sol. Energy* 191, 7–18.
- Haghani, M., Place, W., & Buckner, G. D. (2025). Daylighting performance of innovative sun-tracking prismatic vertical louvers (PVL) system: A comparative study. *SSRN Electronic Journal*.1-6.<https://doi.org/10.2139/ssrn.5073945>
- Ibrahim, A., Alsukkar, M., Dong, Y., & Hu, P. (2025). Investigations for the daylighting performance of trapezoid profile shadings using multi-objective optimization. *Journal of Building Engineering*.99. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.103213>
- Kwong, Qi Jie. (2020). Light level, visual comfort and lighting energy savings potential in a green-certified high-rise



- building. *Journal of Building Engineering*. 29. 10.1016/j.jobe.2020.101198.
- M. Roshan, A.S. Barau, Assessing anidolic daylighting system for efficient daylight in open plan office in the tropics, *J. Build Eng.* 8 (2016) 58–69.
- Marcin, Brzezicki. (2021). An Evaluation of Useful Daylight Illuminance in an Office Room with a Light Shelf and Translucent Ceiling at 51° N. *Buildings*. 11. 494. 10.3390/buildings11110494.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., and Lee, E. 2009. Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41 (3): 261–283.
- Mardaljevic, John & Andersen, Marilyne & Roy, Nicolas & Christoffersen, Jens. (2012). Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability. 189-196.
- Modin, H. (2014). Adaptive building envelopes. Chalmers University of Technology, 18-19.
- Motamedi, S., Liedl, P., 2017. Integrative algorithm to optimize skylights considering fully impacts of daylight on energy. *Energy Build.* 138, 655–665.
- National Building Regulations, Section 4: General Building Requirements, Second Edition, Tehran: Ministry of Roads and Urban Development, 2013, p. 14.
- Roshan Kharrat, R. (2024). Dynamic and adaptive photovoltaic shading systems: Design and architectural integration for energy production and indoor comfort (Master's thesis). Politecnico di Torino. 59-62 <https://webthesis.biblio.polito.it/33696/>
- Rostamzadeh-Renani, M., *et al.*, 2022b. The effect of canard's optimum geometric design on wake control behind the car using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm. *ISA Trans.* 131: 427-443.
- Roudsari, M.S., Pak, M., Smith, A., 2013. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. In: *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference Held in Lyon, France Aug.* 3128-3135
- Sherbini, K., and R. Krawczyk. 2004. "Overview of Intelligent Architecture." *The proceeding of e-design in architecture, Dhahran, Saudi Arabia*, 137-152.
- Tashakori, M. 2014. "Design of a Computer-Controlled Sun-Tracking Facade Model." Thesis, The Pennsylvania State University.
- Toutou, A., Fikry, M., Mohamed, W., 2018. The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Alexandria Eng. J.* 57 (4), 3595–3608.
- Ukpong, E., Uzuegbunam, F. O., Ibem, E. O., & Udomiaye, E. (2025). Daylighting performance evaluation in tropical lecture rooms: A comparative analysis of static and climate-based metrics. *Journal of Building Engineering*, 112044. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.102803>
- Yekutieli, T. P., and Y. J. Grobman. 2014. "Controlling Kinetic Cladding Components in Building Facades: A Case for Autonomous Movement." *The proceeding of 19th international conference of the association of computer-aided architectural design research in Asia, Hong Kong*. 129-138.
- Yusoff, Y., Ngadiman, M.S., Zain, A.M., 2011. Overview of NSGA-II for optimizing machining process parameters. *Procedia Eng.* 15, 3978–3983.